



Attelle CPM130



Objectif : relier le déplacement du chariot à l'angle du genou selon trois approches :

- théorique ;
- expérimentale ;
- numérique.

Comparer les résultats pour vérifier que le modèle géométrique décrit le comportement de l'attelle.

1 | Présentation du système

L'attelle CPM130 est un système de mobilisation du genou utilisé en kinésithérapie et en rééducation fonctionnelle. Elle accompagne le mouvement de flexion et d'extension du genou. Le professionnel règle le mouvement adapté à la séance ; la chaîne motorisée déplace les supports articulés de la jambe.

1.1 Objectifs et ressources

- Identifier les constituants des chaînes d'information et d'énergie.
- Établir les fermetures géométriques des deux cycles cinématiques.
- Compléter dans le script Python les relations issues des fermetures, puis obtenir la loi $\theta_G(P_a)$ avec le calcul numérique fourni.
- Comparer la loi entrée-sortie calculée à une mesure expérimentale et expliquer les écarts.

Toutes les longueurs du modèle sont exprimées en mètres et les angles de calcul en radians.

1.2 Chaînes fonctionnelles

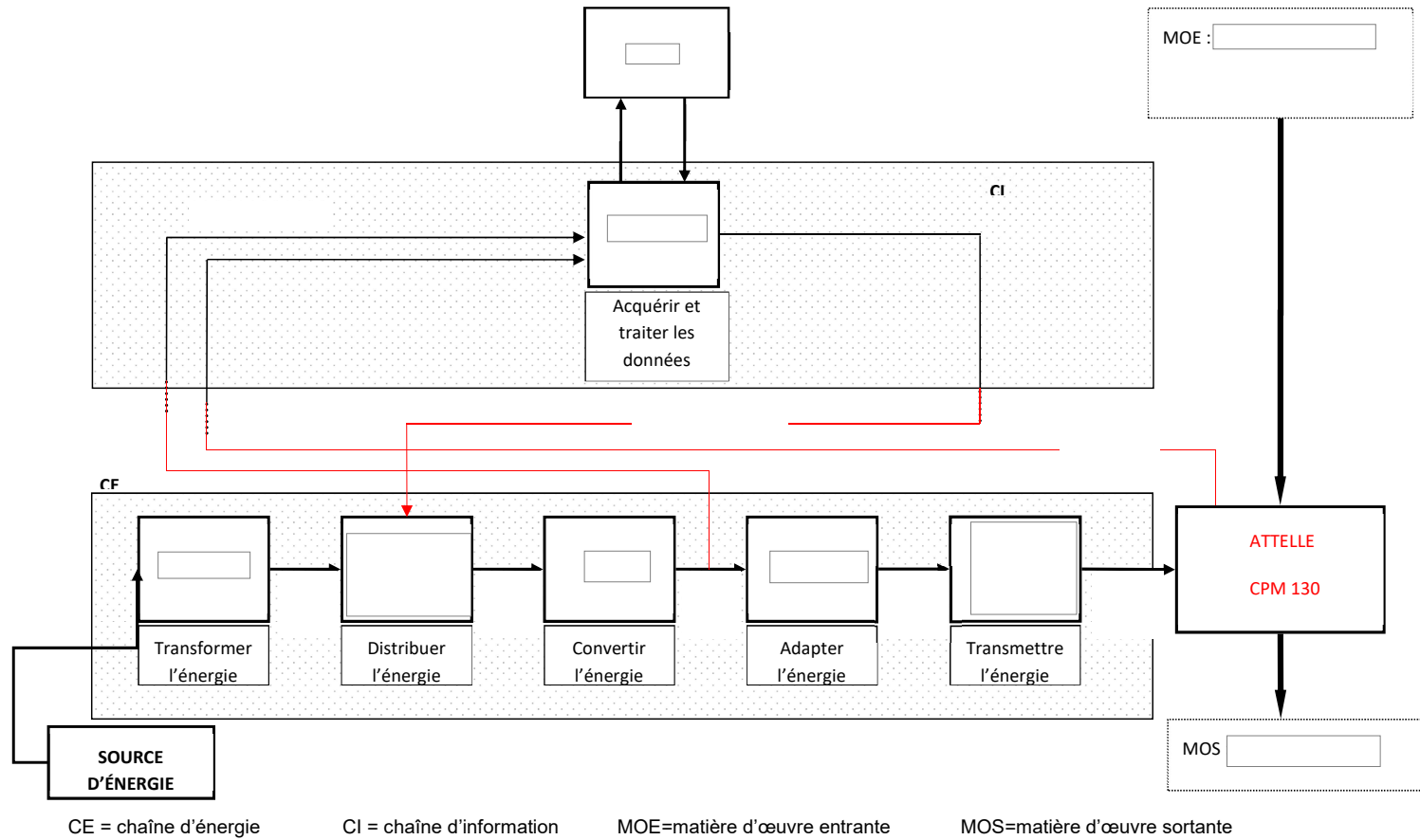
Le diagramme SysML de définition des blocs de l'attelle CPM130 est fourni en annexe A (page 8). Il permet d'identifier les constituants matériels du système avant de suivre les flux dans les chaînes d'information et d'énergie.

Question 1 : À partir de ce diagramme et de l'observation de l'attelle, compléter¹ les zones blanches des deux chaînes fonctionnelles ci-dessous : constituants associés aux fonctions, informations et énergies échangées, ainsi que matière d'œuvre entrante et sortante. Conserver les fonctions et les liaisons déjà indiquées sur le document réponse.

1. De manière numérique ou en recopiant, ne pas écrire sur le sujet, merci.

Chaînes fonctionnelles de l'attelle CPM130 – document réponse

Compléter les zones blanches directement sur le schéma. Les fonctions, les flèches et les abréviations CI, CE, MOE et MOS restent visibles.



2 | Prise en main

🔧 Observer l'attelle à l'arrêt : repérer le bâti, le chariot, les supports de cuisse et de jambe, le moteur, la transmission et les capteurs. Le diagramme de définition des blocs est disponible en annexe A.

🔧 Repérer l'interrupteur ON/OFF sur le côté du boîtier bleu, puis mettre l'attelle sous tension sous le contrôle de l'enseignant. Lancer le logiciel *CPM-130 Attelle Interface*, connecter l'interface PC au système et vérifier le voyant vert « Connexion ». Activer la carte de commande, puis sélectionner le mode LAB0.



🔧 Ne placer évidemment personne dans l'attelle et dégager la zone de mouvement. Repérer l'arrêt d'urgence avant toute sollicitation. En mode LAB0, ne pas utiliser les curseurs de mobilisation du mode KINETEC : le déplacement sera commandé depuis l'acquisition de l'axe, décrite juste après.

3 | Étude expérimentale

🔧 L'objectif est de mesurer l'angle du genou en fonction de la position du chariot, pour P_a entre 300 et 600 mm. Vérifier que l'attelle est sous tension, que la connexion et l'activation sont établies et que le mode LAB0 est sélectionné.

3.1 Ouvrir l'acquisition de l'axe

🔧 Cliquer d'abord sur le pictogramme de droite « Acquisition Axe » ci-dessous. Utiliser l'écran du mode LAB0, sans les curseurs de mobilisation du mode KINETEC.



🔧 Dans la fenêtre d'acquisition, suivre ensuite les deux pictogrammes indiqués sur l'image ci-dessous : d'abord choisir les grandeurs à acquérir, puis paramétrer le mouvement. Dans « Paramètres acquisition », cocher les canaux utiles et choisir chaque grandeur dans le menu déroulant « Variable » de la zone « Choix canaux ». Vérifier que les mesures nécessaires à P_a et à θ_G sont disponibles avant de lancer la sollicitation.



3.2 Balayer la plage de positions

🔧 La sécurité limite à 50 mm le déplacement demandé *par consigne*, et non la plage totale de l'étude souhaitée.

🔧 Commencer par placer la position initiale à 300mm.

🔧 À partir de 300 mm, rejoindre successivement 350, 400, 450, 500, 550 puis 600 mm, avec une acquisition et une sauvegarde à chaque étape :

🔧 Pour chaque étape, paramétrer la consigne de position, envoyer la sollicitation, attendre l'arrêt du mouvement, puis enregistrer les mesures. La sauvegarde crée le fichier .eposacq, relisible dans l'IHM, **et aussi** un fichier .csv contenant les mesures : ce second fichier est créé automatiquement même si la fenêtre de sauvegarde ne l'annonce pas.

3.3 Conversions des mesures

Pour le jeu de mesures et le réglage du dossier d'origine, 1000 incréments q_c correspondent à 0,16 mm de position du chariot. La calibration fournie du canal angulaire U_g est :

$$P_a [\text{m}] = 0,001 \frac{0,16}{1000} q_c, \quad \theta_G [^\circ] = -0,072(U_g - 892) + 113,6.$$

U_g désigne ici la valeur exportée du canal du capteur angulaire : ne pas lui substituer une tension en volts sans conversion. Vérifier l'origine et la calibration de la position avant de traiter une nouvelle acquisition ; un déplacement relatif n'est pas nécessairement la position absolue P_a du modèle.

⚙️ Vérifier qu'un CSV a bien été créé pour chacune d'elles.

3.4 Traiter et comparer les acquisitions

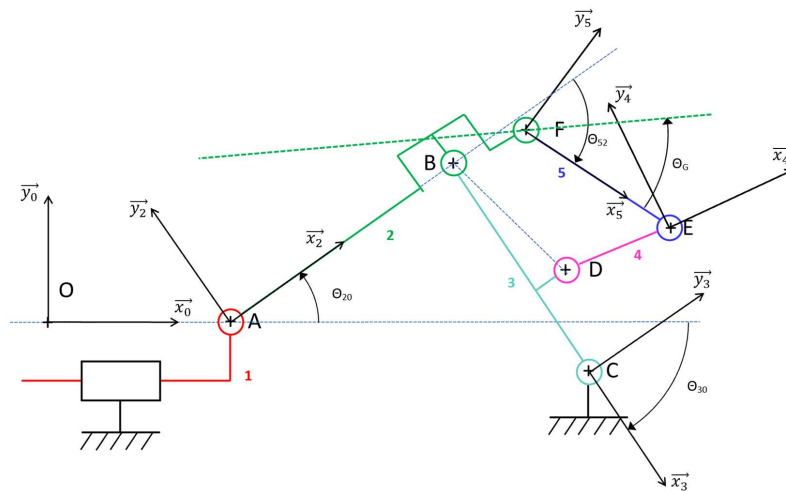
Question 2 : Concaténer les 6 fichiers csv issues de l'expérimentation en un seul fichier csv prêt à être exploité avec Python ou gérer la lecture des 6 fichiers avec Python.

Question 3 : 🐍 Compléter la fonction `donneesExp` pour récupérer les données expérimentales.

Question 4 : 🐍 Appliquer les conversions ci dessus et éventuellement tenir compte de la position initiale de 300mm.

Question 5 : 🐍 Tracer la courbe expérimentale de l'évolution de l'angle du genou en fonction du déplacement du chariot.

4 | Étude théorique

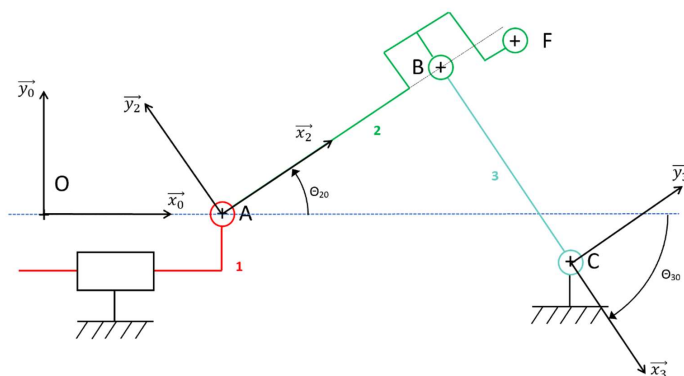


Le déplacement du chariot P_a est l'entrée du modèle ; l'angle du genou θ_G est sa sortie.

Question 6 : Réaliser le graphe des liaisons du système ainsi que les figures de changement de base nécessaires.

Les deux cycles géométriques sont étudiés successivement : le premier relie P_a aux angles θ_{20} et θ_{30} ; le second conduit à θ_G .

4.1 Fermeture géométrique du cycle 1



$$\overrightarrow{OA} = P_a \vec{x}_0,$$

$$\overrightarrow{AB} = a \vec{x}_2,$$

$$\overrightarrow{BC} = b \vec{x}_3,$$

$$\overrightarrow{OC} = c \vec{x}_0 - d \vec{y}_0.$$

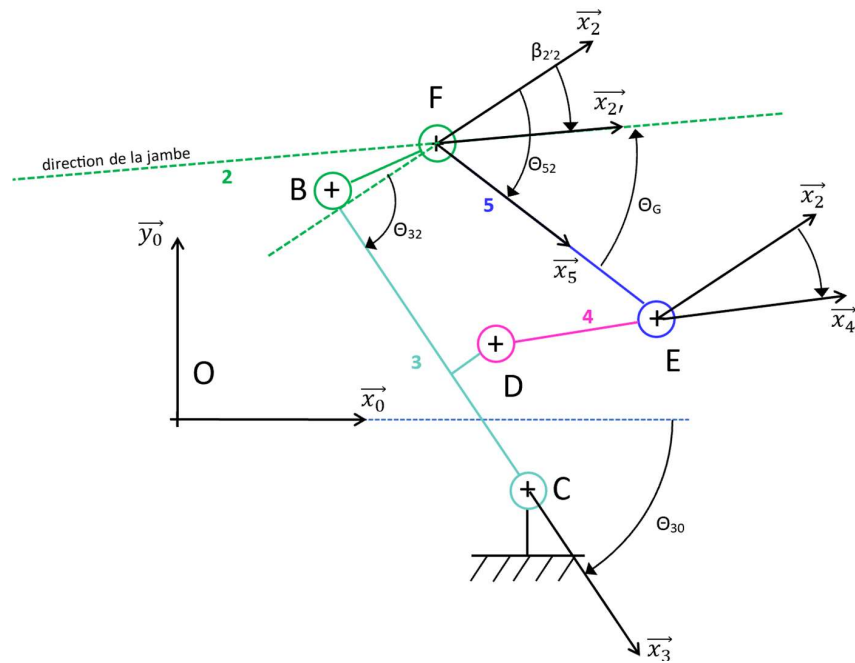
$$a = 0,37031 \text{ m} ; b = 0,321397 \text{ m} ; c = 0,840 \text{ m} ; d = 0,0675 \text{ m}.$$

Question 7 : Écrire la fermeture géométrique du cycle 1 et la projeter dans la base 0 afin d'obtenir deux équations scalaires reliant P_a , θ_{20} et θ_{30} .

Question 8 : Dans Attelle CPM - Etudiant.py, compléter `fermeture_cycle_1(angles, Pa)` : renseigner `f1x` et `f1y` avec les membres de gauche des deux équations obtenues, sans le " = 0".

Question 9 : Dédurre des deux équations scalaires une expression de P_a en fonction de θ_{20} . Même question pour P_a en fonction de θ_{30} .

4.2 Seconde fermeture géométrique



$$\overrightarrow{BF} = e_x \vec{x}_2 + e_y \vec{y}_2,$$

$$\overrightarrow{DE} = g \vec{x}_4,$$

$$\overrightarrow{BD} = k_x \vec{x}_3 + k_y \vec{y}_3,$$

$$\overrightarrow{FE} = h \vec{x}_5.$$

$$\begin{array}{lll} e_x = 0,1076 \text{ m} & e_y = -0,0191 \text{ m} & g = 0,1350 \text{ m} \\ k_x = 0,1804 \text{ m} & k_y = 0,0031 \text{ m} & h = 0,1800 \text{ m} \end{array}$$

L'angle entre les bases 2' et 2 vaut $\beta_{2'2} = -0,1752 \text{ rad}$.

Question 10 : Écrire la fermeture géométrique du cycle 2. La projeter dans la base 2 pour obtenir deux équations scalaires reliant θ_{42} , θ_{32} et θ_{52} .

Question 11 : Compléter `fermeture_cycle_2(angles, theta32)` : renseigner `f2x` et `f2y` avec les membres de gauche des deux équations projetées dans la base 2.

Question 12 : En déduire une relation entre θ_{32} et θ_{52} .

La résolution à partir de ces fermetures géométriques est un peu complexe et est donnée, ne pas la modifier. La fonction `calcul_theorique` prend en argument un tableau des valeurs de P_a et renvoie les angles correspondant.

Question 13 : Créer le tableau `T_Pa` avec `np.linspace`, de 0,300 à 0,700m, bornes incluses, avec un pas de 0,001m.

Question 14 : Utiliser la fonction `calcul_theorique` pour calculer les angles en fonction de la position du chariot.

Question 15 : Tracer la courbe théorique de l'angle du genou en fonction du déplacement du chariot.

Annexe A : diagramme de définition des blocs

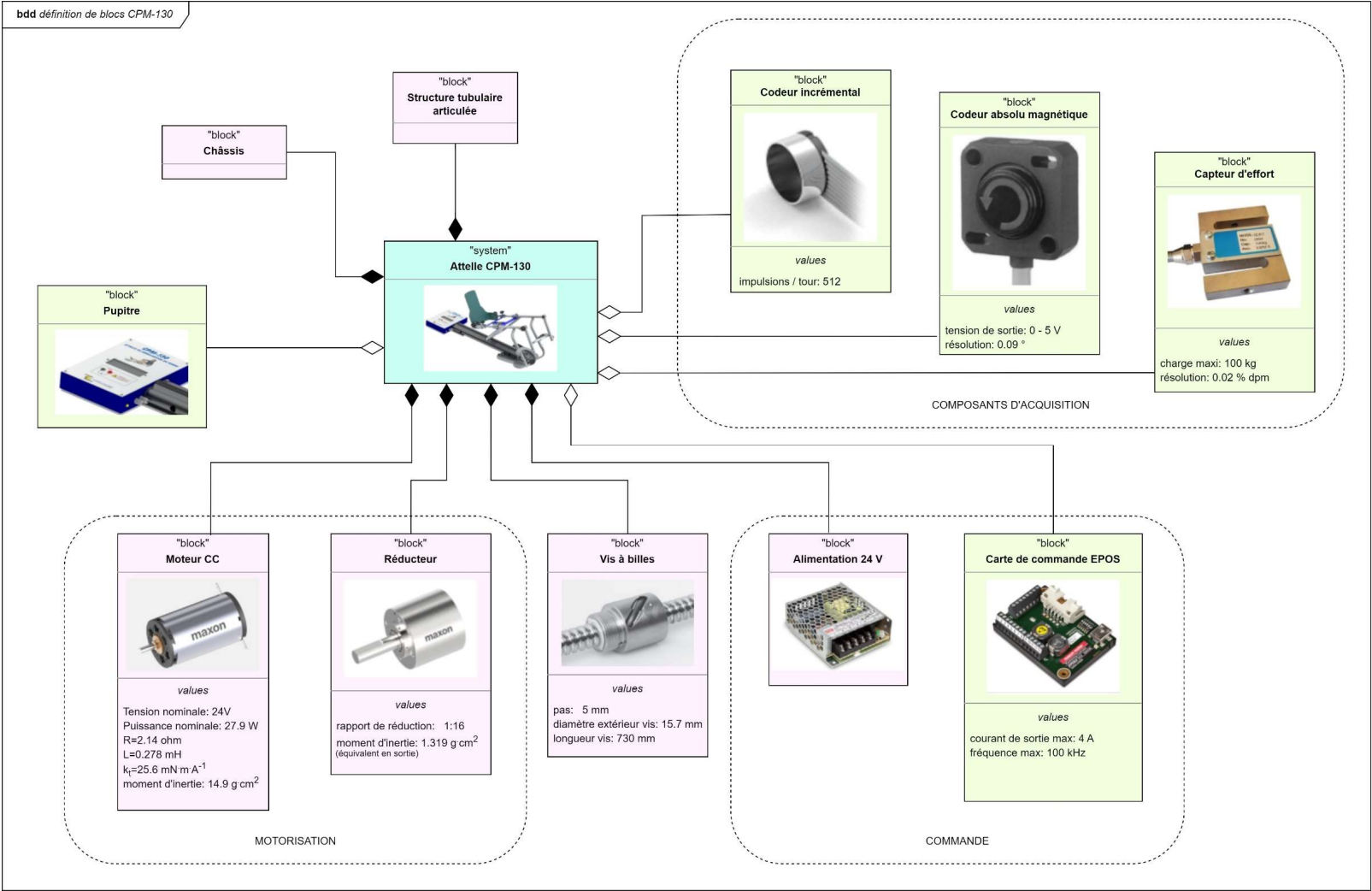


Diagramme SysML issu du dossier pédagogique CPM130 (TP 1.1). Les caractéristiques indiquées constituent les données du système étudié.